

# 映像配信における高スループットと省電力を実現する スマート経路ナビゲーションの特性評価

竹中幸子<sup>†</sup> 金井謙治<sup>†</sup> 野辺誠<sup>†</sup> 甲藤二郎<sup>†</sup>

**概要:** 移動中でも、より高品質で省電力な映像配信を実現するために、高スループットと省電力を両立する通信が可能な経路の導出を考える。本稿では、スマートフォンにより収集した通信履歴データを活用し、移動時間、スループット、消費電力の推定を行い、これら推定値から高スループットと省電力を実現する移動経路を導出するスマート経路ナビゲーションの提案を行う。さらに、スマート経路ナビゲーションにより提供された移動経路上で、映像配信の特性評価を行う。その評価結果を通して、提案経路上では、従来のサービスが提供する移動経路と比較して、高スループットかつ省電力な映像配信を行えることを実証する。

**キーワード:** 無線ネットワーク, 映像配信, モバイルユーザ, Quality of Service

## Performance Evaluations of Smart Route Navigation for High Throughput and Energy Saving on Mobile Video

SAKIKO TAKENAKA<sup>†</sup> KENJI KANAI<sup>†</sup> MAKOTO NOBE<sup>†</sup> JIRO KATTO<sup>†</sup>

**Abstract:** Demand for high quality and energy-friendly video streaming while moving is increasing. In this paper, we propose smart route navigation that achieves higher throughput and lower energy communication. Our proposed system collects history data related to communication quality, visualizes these quality distributions using a graph, and find an optimal route that provides high-speed and energy-friendly communication. In order to demonstrate the performance of our proposed route, we evaluate video streaming characteristics on this proposed route and compare the performance with a route provided by conventional services. These results prove that the proposed route brings higher throughput and lower energy consumption than the conventional route.

**Keywords:** Wireless Communication, Video Streaming, Mobile User, Quality of Service

### 1. はじめに

近年、スマートフォン端末の普及により、モバイル通信トラフィックは2018年までに約11倍に増加すると言われ、そのうちの7割は映像コンテンツが占めると予測されている[1]。さらに、スマートフォンの高性能化に伴い、利用可能な無線規格が多様化し、無線規格・無線リソースの有効利用が重要となってきた。これに対して、筆者らは [2] において、携帯電話事業者が提供する Long Term Evolution(以下、LTE)の無線品質に関する通信履歴データを収集し、これらを活用して通信品質の可視化、さらには最大スループットが得られる移動経路の提案を行い、移動時における映像配信の QoS (Quality of Service) 改善を行っている。その結果、提案経路は最もスループットが低い経路と比較して、通信および映像品質が 1.5 倍向上することを実証している。しかし、映像配信時の高スループット化と省電力化を両立させる移動経路が課題であった。

そこで本稿では、スマートフォンにより収集した通信履歴データを活用し、移動時間、スループット、消費電力の推定を行い、これら推定値から高スループットと省電力を

両立する移動経路の提案を行う。さらに、提案経路上で映像配信実験を行い、従来のサービスが提供する経路と比較して、高スループットかつ省電力な映像配信を行えることを実証する。

### 2. 関連研究

#### 2.1 通信履歴の収集及び消費電力の予測

現在日本では、携帯電話事業者が収集・管理しているネットワークサービスの通信履歴や品質は一般向けには公開されていない。一方、基地局やアクセスポイントの位置や品質を計測、収集する多数のアプリケーションが公開されている。特に、OpenSignal[3]やWiGLE[4]では、スマートフォンにより収集した基地局やアクセスポイントの情報を、クラウドコンピューティングを活用しデータベース化している。しかし、これらはその収集密度が十分でなく、また、スループットや受信電波強度 (Receive Signal Strength Indicator : 以下, RSSI), 消費電力といった通信品質パラメータを同時に含んでいない。

さらに、スマートフォンにより収集したパラメータを用いて各種通信品質や消費電力を予測する検討が行われている。特に、スマートフォンの消費電力を予測する手法とし

<sup>†</sup>1 早稲田大学  
Waseda University.

て、収集したパラメータを用いて予測モデルを構築する手法が提案されている[5][6][7]. [5]では、演算量(CPU使用率)、無線送受信量、ストレージのデータ書き込み量と消費量を観測し、消費電力がそれらの重み和であるとの仮定の下、重回帰分析を行うことで、消費電力を予測している. また、[6][7]は、CPU使用率のみを活用した消費電力の予測モデルを提案している.

## 2.2 通信品質向上のための移動経路

寄り道経路[8]及び筆者らの提案する快適経路[9][10]は、公衆無線 Wi-Fi を効率よく利用することを目的に、出発地点から目的地点まで移動する際に、最短経路を選択するのではなく、ユーザが指定する許容移動時間内の移動で、通信品質の良い公衆無線 Wi-Fi を利用できる経路を選択する手法である. 許容移動時間から最大通信速度の地点での停止可能な時間を導出し、データ転送量が最大となる経路[9]や消費電力が最小となる経路[10]を提案している.

また、[2]では、公衆無線 Wi-Fi ではなく LTE の通信品質の不均一性に着目している. 携帯電話事業者の LTE における通信品質履歴データを収集し、その履歴データを活用した通信品質の可視化、さらにスループット最大化を満足する移動経路の提案を行っている. その移動経路を利用することで映像配信時の QoS が改善することがわかっている.

しかしながら、通信品質の向上と消費電力の抑制を両立する移動経路の提案は筆者の知る限り行われていない.

## 3. スマート経路ナビゲーション

本稿では、移動中の映像配信の高品質化と省電力化を両立することを目的とした移動経路の提案を行う. このような各種通信品質の収集、予測、それらを活用した移動経路を提示するシステムをスマート経路ナビゲーションと定義する. 提案するスマート経路ナビゲーションのフローを図1に示す. 図1に示されているように、提案システムは、「データ収集」、「無線信号グラフの作成」、「予測モデルの構築」、「予測結果を用いた経路探索」の4つのコンポーネントに分類できる. 以降では、各コンポーネントの詳細を説明すると共に、今回の実験対象エリアである早稲田大学理工キャンパスから最寄りである高田馬場駅までの可能な限りの経路の評価例を示す. なお、本稿では、予測モデルの構築として消費電力を対象にしており、スループット予測については、今後の課題とする.

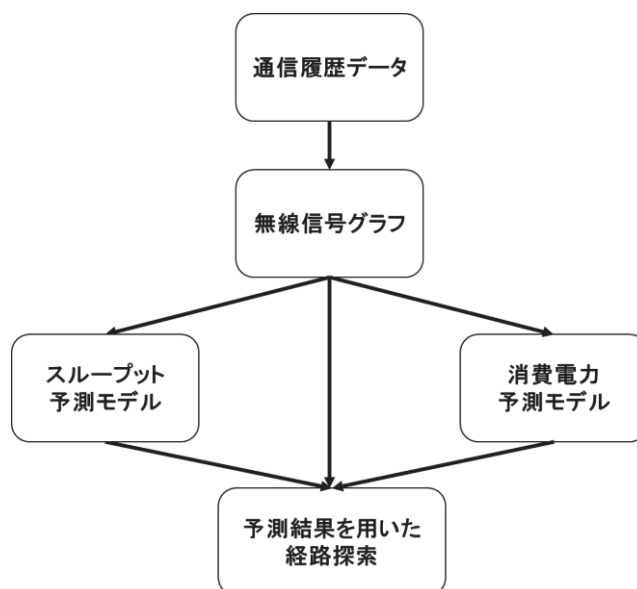


図1 スマート経路ナビゲーション.

### 3.1 通信履歴データの収集

本項目では、[3][4]と同様に、スマートフォン端末を用いて通信品質履歴データの収集を行う. 対象とする通信履歴データは、「映像配信時の受信スループット」、「ユーザの位置情報」、「RSSI」とする. これら通信履歴データの収集は Android アプリケーションによって行われる.

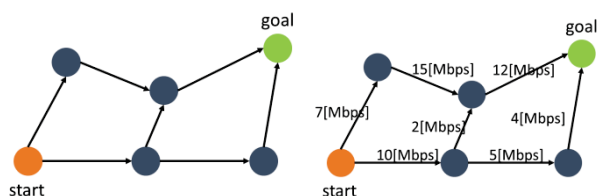
評価データを収集するために、平日の 14:00~15:30 の時間帯にデータ収集を試みる. 実験エリアは、早稲田大学西早稲田キャンパスから最寄りの駅である高田馬場駅までを対象とする. このエリア内を可能な限りの経路を徒歩で移動しながら、通信履歴データを収集する. 各データの収集間隔は1秒間隔とし、受信スループットは、早稲田大学内に設置した配信サーバから動画セグメントを LTE で受信した際に観測されたスループットとする. 通信履歴データの収集に用いたスマートフォン端末は、Galaxy S4(Androidバージョン 4.2.2)である. この収集した通信履歴データを用いて、以下に述べる「無線信号グラフ」の構築、消費電力の予測を行う.

### 3.2 無線信号グラフ

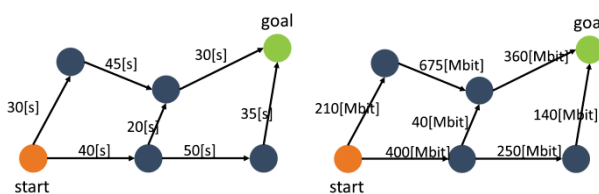
経路探索を行うために、収集した通信履歴データをもとに、実験エリアの無線品質を可視化するグラフを作成し、以下に示す「無線信号グラフ」を定義する. まず、実験エリアを図2(a)のように交差点をノード、交差点同士を接続する道路をエッジとしてグラフ化する. 次に、各エッジ上で収集した通信履歴データ中のスループットからそれらの平均を算出することで、エッジ上で通信した際の推定スループットを導出する. このスループットの推定値を図2(b)のように各エッジにパラメータとして持たせる. 次に、エッジ両端のノードの位置情報から、エッジの長さを算出し、ユーザの移動速度を[11]をもとに 1.4[m/s]に設定した場合

の移動時間を推定する。この移動時間の推定値を図 2(c)のように各エッジにパラメータとして持たせる。最後に、エッジに持たせたスループットと移動時間を乗算することで、このエッジ上を移動しながら通信した際の受信データ量の推定値を算出し、他のパラメータと同様に図 2(d)のように各エッジにパラメータとして持たせる。

このような過程を通して、移動経路候補を抽象化し、各エッジにスループット、移動時間、データ受信量をパラメータに持つ無線信号グラフを作成する。



(a) 地理情報のグラフ化 (b) スループットのマッピング



(c) 移動時間のマッピング (d) 転送量のマッピング

図 2 無線信号グラフの構築例。

### 3.3 消費電力予測モデル

次に、無線信号グラフのエッジを移動することで得られるスループットやデータ受信量から、そのときの消費電力量を予測するために、消費電力予測モデルを構築する。また、移動をしながら計測機器を利用した消費電力の正確な計測は困難であるため、今回は Wi-Fi を用いた場合に作成した予測モデルを実測時の LTE の場合に適用している。

#### 3.3.1 消費電力測定

まず、様々なスループットで通信した際のスマートフォン端末の消費電力を計測する。図 3 に示すように、消費電力を計測する対象であるスマートフォン Galaxy S4(Android バージョン 4.2.2) に計測機器である Monsoon Power Monitor[12]を接続し、消費電力の計測を行う。

3.1 節と同様に、動画セグメントを早稲田大学内に設置した配信サーバからスマートフォンで受信し、スループットと消費電力の計測を行う。配信サーバとスマートフォン間の通信は、1 ホップの Wi-Fi(IEEE802.11n)である。

この環境により、計測した受信スループット[Mbps]と消費電力量[mJ]から 1[Mbit]受信あたりの消費電力[mJ/Mbit]を算出し、消費電力予測モデルを近似的に構築する。

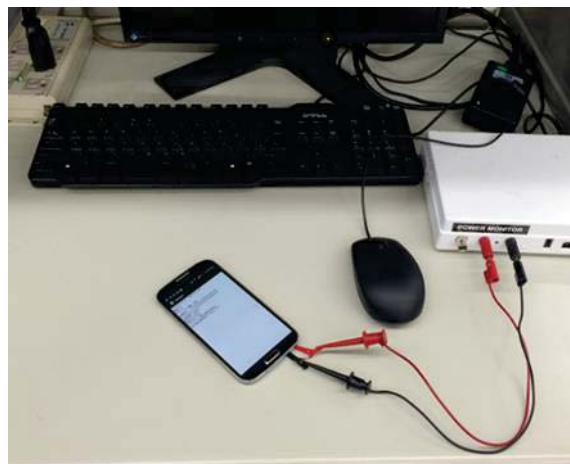


図 3 スマートフォンの消費電力計測の様子。

#### 3.3.2 消費電力予測モデルの構築

受信スループット[Mbps]と 1[Mbit]受信あたりの消費電力[mJ/Mbit]の関係を図 4 および(式 1)に示し、(式 1)の近似式を消費電力予測モデルとする。

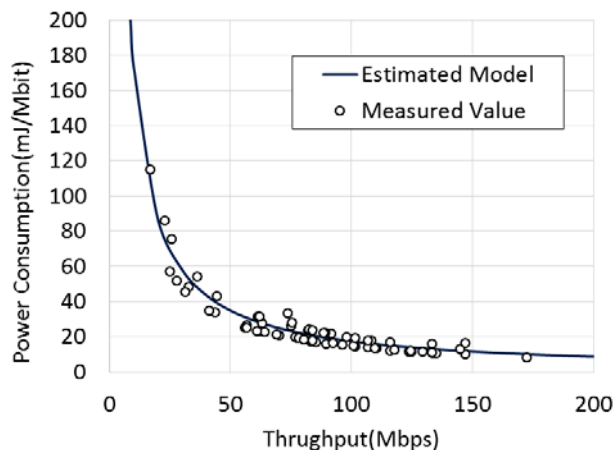


図 4 受信スループットと 1[Mbit]受信あたりの消費電力の関係。

$$PowerConsumption = \frac{1745}{Throughput} \quad (\text{式 1})$$

図 4 から、スループットと 1[Mbit]受信あたりの消費電力の関係は、反比例の式に近似できることがわかる。高スループットで一定量のデータを受信する場合は、低スループットで受信した場合よりも通信時間が短くなるため、1[bit]あたりの消費電力が小さくなる。したがって、スループットが高いほど、電力効率が良くなるということが言える。

また、(式 1)の係数である 1745 は、[J/bit][bps]より、[J/s]の単位で表されるので、スループットに無関係に 1 秒間のデータ受信あたりに消費される電力の近似値であることが確認できる。この予測モデルを用いて、スループットから消費電力の予測を行う。

### 3.4 予測結果を用いた経路探索

無線信号グラフと消費電力予測モデルを用いて、ユーザの要求を満足する経路探索を行う。映像配信を想定しているため、メトリックとして移動時間、スループット、消費電力に加え、映像のビットレートを考慮する。今回の実験エリアでは、出発地点から目的地点をそれぞれ大学から最寄り駅までと設定すると、候補経路が 166 種類存在する。ただし、移動する際必ず目的地点方向に進むものとし、出発地点方向には戻らないことを前提としている。この全候補経路に対して、移動時間、スループット、映像セグメント 1 秒分を受信した際の消費電力、フリーズせずに取得可能な最大ビットレートのそれぞれの特性を算出する。なお、単純化のため、移動中の適応ビットレート制御は考えないものとする。以降、各パラメータの算出方法を示す。

#### ✓ 移動時間

各経路の移動時間は、ノード同士を接続するエッジが持つパラメータである移動時間の和とする。

#### ✓ スループット

各経路で移動中に映像配信を行った際の平均スループットは、ノード同士を接続するエッジが持つパラメータである受信データサイズの和を経路の移動時間で除算した時の商とする。

#### ✓ 消費電力

各ビットレートの映像セグメント 1 秒分を受信した際の消費電力は、ノード同士を接続するエッジ上で動画セグメントを受信した際の消費電力の和を、経路全体で取得した総セグメント数により算出できる映像再生可能な時間で除算した時の商とする。

ただし、移動中の適応ビットレート制御を考慮していないため、エッジのスループットが取得する動画のビットレートより大きい場合、1 秒間に取得できるデータ量は、ビットレートと等しくなり、また、スループットがビットレートより小さい場合、1 秒間に取得できるデータ量は、スループットと等しくなる。この 1 秒間に取得できるデータ量とスループットから、消費電力予測モデルを用いて、エッジ上で動画セグメントを受信した際の消費電力を算出する。

#### ✓ フリーズしない最大ビットレート

移動中に映像配信をした際のフリーズしない最大ビットレートは、スループットよりも高いビットレートを選択しないという条件のもと、経路上で観測されたスループットの最小値とする。

以上の方法で全経路における移動時間と移動中に映像配信を行った際の平均スループット、各ビットレートの映像セグメント 1 秒分を受信した際の消費電力、フリーズしない最大ビットレートの推定値を算出し、その結果を図 5、図 6 に示す。また、図 5、図 6 のルート ID は、スループ

ットの大きい順にソートしてあり、図 6 の消費電力推定に用いる動画のビットレートは、1[Mbps], 3[Mbps], 7[Mbps], 10[Mbps]を想定する。

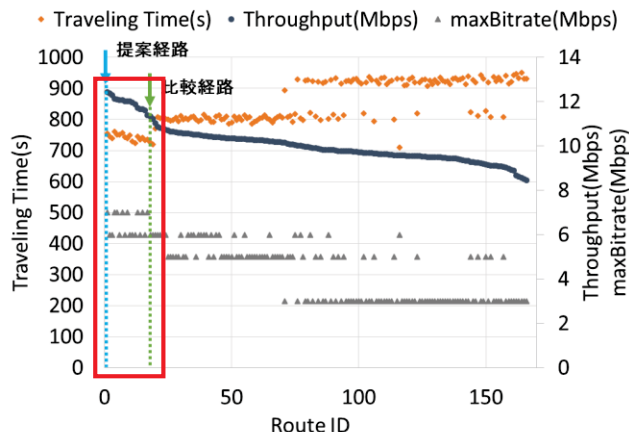


図 5 全経路上の移動時間、平均スループット、フリーズしない最大ビットレートの推定結果。

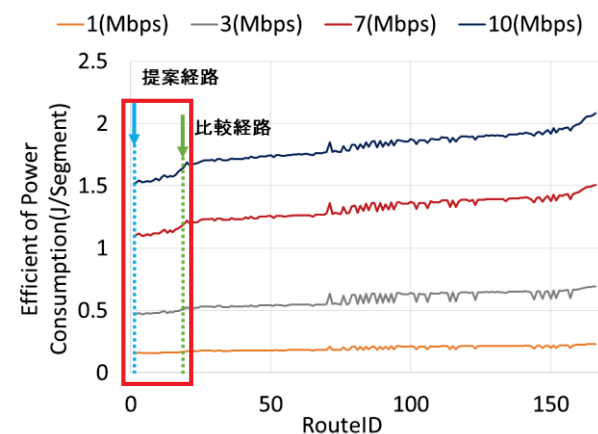


図 6 全経路上の各ビットレートにおける映像セグメント 1 秒を受信した際の推定消費電力。

図 5 に、高スループットを実現する経路群を太枠で示す。これらの経路は、高スループットであることに加え、移動時間が短いという特徴も共通しているが、フリーズしない最大ビットレートは経路により異なる。平均スループットの大きい経路でも、極端にスループットの低いエリアを通る場合は、高品質な動画を配信するとフリーズするという特徴を持つことが確認できる。

図 6 に、省電力を実現する経路群を太枠で示す。この図から、取得する映像のビットレートが大きくなるほど、太枠で囲まれる経路は、他の経路と比較して、電力効率が良くなることが確認できる。これは、一度に大量のデータを受信した方が電力効率の観点から効果が高くなるからである。

図 5、図 6 から、太枠で囲まれる経路群は高スループットで省電力な映像配信が実現できる経路であることが推定

できる。このように、高スループット経路を選択することで、省電力も同時に実現できることが確認された。

ユーザ要求によって提示すべき移動経路は異なるが、ここでは、「最大スループットかつ最小消費電力」をユーザ要求と設定する。そのため、図 5, 6 に示すルート ID : 1 の経路を提案経路とする。また、その提案経路の評価をする上で、比較対象として従来のサービスの一つである Google Maps [13] が提供する経路を用意する。提案経路、比較経路を図 7 に示す。



図 7 評価対象経路。

#### 4. 映像配信時の特性評価実験

スマート経路ナビゲーションにより提案した経路の有効性を示すため、経路上における映像配信時の特性を評価する。本評価実験は 2 段階に分けて行う。まず、提案経路と Google Maps が提供する比較経路上で映像配信をし、この時の動画セグメント受信時のスループットを記録する。次に、屋外で移動を行いながら消費電力を詳細に計測することが困難であるため、早稲田大学内に設置した Wi-Fi 環境を用いて、疑似的に屋外で行った映像配信を再現し、Monsoon Power Monitor を用いて、消費電力の計測を行う。このような手法を用いて各経路に対する映像配信評価を行う。

##### 4.1 映像配信時のスループット評価

本評価実験は、提案経路と比較経路上で動画配信を行い、その時の動画セグメント受信時のスループットを計測することで、各経路上で映像配信時に得られるスループットの比較評価を行う。

スマートフォン上で動画配信を行うために、コンテンツ配信サーバを早稲田大学内に設置する。実験で用いたコンテンツ配信サーバは、Ubuntu によるデスクトップ PC であ

り、クライアント端末として、スマートフォン端末の Galaxy S4(Android バージョン 4.2.2)を用いる。また、配信される動画は、4K 動画として[14]で公開されている”Tears of Steel”を H.264./AVC によって予め 3[Mbps], 7[Mbps], 10[Mbps]のビットレートで圧縮したものである。フレームレートは 24fps, セグメント分割サイズは、2 秒を採用している。

コンテンツ配信サーバとクライアント端末間の通信は携帯電話事業者が提供する LTE を利用し、提案経路と比較経路上で動画配信を行った際の動画セグメントを受信時のスループットを計測する。

##### 4.2 映像配信時の消費電力評価

本評価実験では、早稲田大学内に設置した Wi-Fi 環境を用いて、疑似的に提案経路と比較経路を移動した際の映像配信を再現し、Monsoon Power Monitor を用いて消費電力の計測することで、各経路上での映像配信時に消費される電力の評価を行うことを目的としている。

4.1 章で得られた各経路上で映像配信した際のセグメント受信時のスループットを用いて、提案経路と比較経路上で、動画配信をした時の状態を再現する。用いるアクセスポイントは IEEE802.11n の規格とし、配信サーバ、端末は 4.1 章の環境と全く同一である。無線帯域は、Linux で実装されている tc コマンドによって実測された値にエミュレートしている。ただし、単純化のため 100[s]ごとに正規化したスループットの平均値を採用する。また、動画配信時の Galaxy S4 の消費電力の計測には、3.3 章と同じように、Monsoon Power Monitor を用いる。

##### 4.3 評価結果

提案経路と比較経路上での映像配信における比較評価実験の結果を図 8 示す。

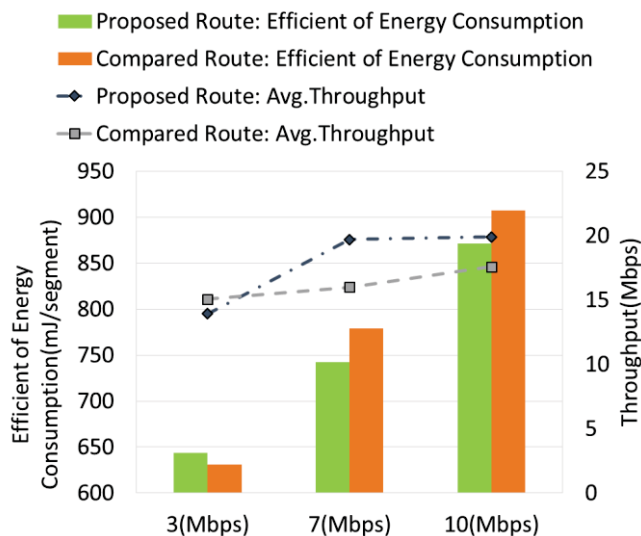


図 8 映像配信における比較評価結果。

図 8 から、提案経路は、比較経路と比較して、7[Mbps], 10[Mbps]のビットレートの動画を取得した場合、スループットが約 13~23[%]向上し、1 セグメントあたりの消費電力が約 30~40[mJ]削減できることが確認できる。一方で、ビットレートが 3[Mbps]の場合、提案経路は、比較経路よりスループットが小さくなったことから、1[bit]あたりの電力効率が悪くなってしまい、比較経路の方が省電力となった。これは、転送量が小さく、帯域を十分に使い切っていないことが原因として考えられる。このように、提案経路は、帯域を十分に満たすリッチなコンテンツを配信する際、高スループット、省電力が実現できることがわかった。

## 5. まとめ

本稿では、スマートフォンにより収集した通信履歴データを活用し、移動時間、スループット、消費電力の推定を行い、これら推定値から高スループットと省電力を実現する移動経路を導出するスマート経路ナビゲーションを提案した。さらに、スマート経路ナビゲーションにより提案された高スループットかつ省電力を実現する経路上で固定ビットレートによる映像配信時の特性評価を行った。評価実験の結果により、提案経路は、従来のサービスの一つである Google Maps が提供する経路と比較して、リッチなコンテンツを配信する際、スループットが約 13~23[%]向上し、1 セグメントあたりの消費電力が約 30~40[mJ]削減できることを確認した。今後は、経路の通信品質に応じた適応受信バッファ制御等の配信制御を考慮した経路探索を行い、より省電力な映像配信を実現する予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H01684 の助成を受けている。

## 参考文献

- 1) Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018.
- 2) Sakiko Takenaka, Kenji Kanai and Jiro Katto: "QoS Improvement of Mobile 4K Video by Using Radio Quality Map," IEEE GCCE 2015, Oct.2015.
- 3) OpenSignal: 3G and 4G LTE Cell Coverage Map[online]: <http://opensignal.com/>.
- 4) WiGLE: Wireless Geographic Logging Engine[online]: <https://wigle.net/>
- 5) 石原亨他, OS から解析可能な無線通信端末の消費電力モデルとその生成方法, 電子情報通信学会 信学技報 CPSY2008-92, Mar.2009
- 6) 小川他, スマートフォンにおける消費エネルギー可視化のための予測モデル, 南山大卒業論文, <http://www.seto.nanzan-u.ac.jp/ise/gr-thesis/2013/10se162.pdf>
- 7) 神山, 稲村, 太田, "電力モデルに基づくアプリ消費電力可視化ツールの評価," 情報処理学会, DICO 2013, Jul.2013.
- 8) G.Motoyoshi, et al, "Advantages of Optimal Longcut Route for Wireless Mobile Users", IEEE ICC2011, June 2011.
- 9) K. Kanai, J. Katto and T. Murase: "Performance Evaluations of

Comfort Route Navigation Providing High-QoS Communication for Mobile Users," ITE Trans. on Media Tech. and App., Vol.2, No.4, Oct. 2014.

10) Kenji Kanai, Konishi Hidenori, Jiro Katto and Tutomu Murase: "Comfort Route Navigation Providing High Communication Quality and Energy Saving for Mobile Devices," IEEE GCCE 2014, Oct.2014.

11) 年齢別歩行速度平均[online]: <http://aganism.com/health/hokou-speed-runtastic/>

12) Monsoon Power Monitor [online]: <http://www.msoon.com/LabEquipment/PowerMonitor/>

13) Google Maps[online]: <https://www.google.co.jp/map>

14) Xiph.org Test Media [online]: <http://media.xiph.org/>.